

POURQUOI DES EUROCODES ?

En 1990, le Comité Européen de Normalisation (CEN) a entrepris la rédaction des Eurocodes, normes européennes de conception, de dimensionnement et de justification des structures de bâtiment et de génie civil, établissant un ensemble de règles techniques, dans le but de leur donner par la suite un statut de normes européennes et pallier l'absence d'harmonisation entre ces règles à travers l'Europe.

Le programme des Eurocodes structuraux comprend les normes suivantes :

L'Eurocode 0	Base de calcul des structures	L'Eurocode 5	Calcul des structures en bois
L'Eurocode 1	Actions sur les structures	L'Eurocode 6	Calcul des structures en maçonnerie
L'Eurocode 2	Calcul des structures en béton	L'Eurocode 7	Calcul géotechnique
L'Eurocode 3	Calcul des structures en acier	L'Eurocode 8	Calcul parasismique
L'Eurocode 4	Calcul des structures acier-béton	L'Eurocode 9	Calcul des structures en aluminium

RAPPEL SUR LES CONTRAINTES

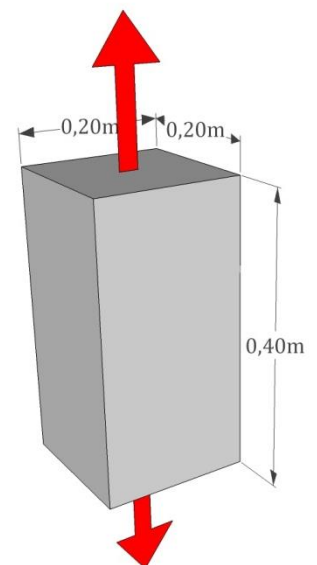
En classe de première, il a été abordé les notions suivantes :

- Forces, définition et représentation sous la forme d'un vecteur.
- Sollicitations simples et contraintes : Compression, Traction, Flexion et Cisaillement
- Contraintes caractéristiques donnée par l'Eurocode 0

Une contrainte s'exprime en N/mm^2 ou MPa (mégaPascal), c'est le rapport d'une force par une surface. La contrainte caractéristique est une valeur réglementaire qui dépend du bois, et du sens de la fibre.

Exercice : On considère un poteau en bois massif de classe C18, le sens du fil est vertical, l'intensité du vecteur force en rouge est : 8000 daN, soit 8 tonnes. A l'aide du **tableau** « Propriétés caractéristique des bois massifs Résineux » :

- Nommer le type de sollicitation :
- Calculer la contrainte créée « σ » :
- Donner la contrainte caractéristique « f » :
- Vérifier si $\sigma < f$ (ou $\sigma / f < 1$) et conclure :

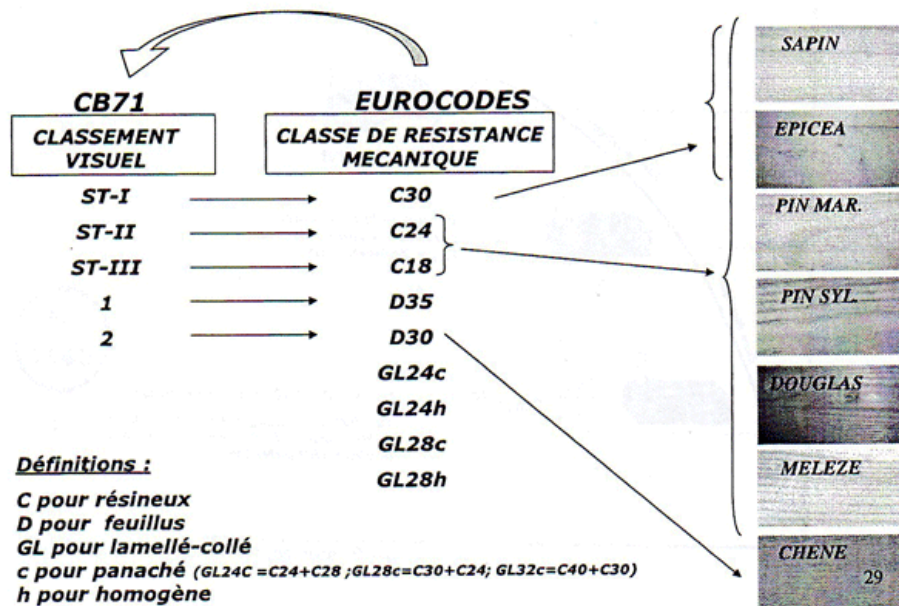


Propriétés caractéristiques des bois massifs RESINEUX définies par NF EN 338, pour calculs avec EC5 :

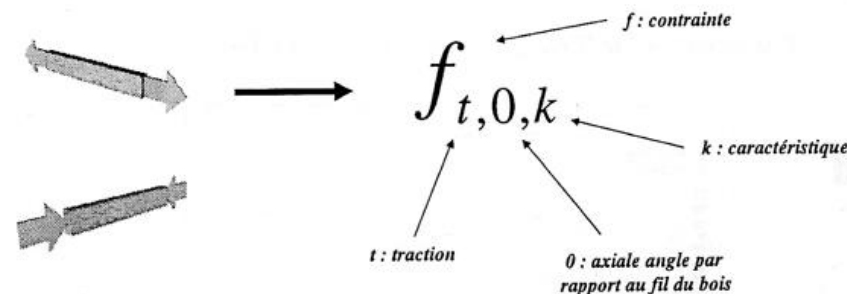
Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	14	16	18	22	24	27
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	8	10	11	13	14	16
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	16	17	18	20	21	22
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2.0	2.2	2.2	2.4	2.5	2.6
$f_{v,k}$	Contrainte de Cisaillement	N/mm ²	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	2.8
$E_{0,mean}$	Module moyen axiale	kN/mm ²	7	8	9	10	11	11.5
$E_{0,05}$	Module axiale au 5 ^{ème} pourcentile	kN/mm ²	4.7	5.4	6.0	6.7	7.4	7.7
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm ²	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.38
G_{mean}	Module de cisaillement	kN/mm ²	0.44	0.50	0.56	0.63	0.69	0.72
ρ_k	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	290	310	320	340	350	370
ρ_{mean}	Masse volumique moyenne	kg/m ³	350	370	380	410	420	450

L'EN 338 et EN1192

CLASSE DE RESISTANCE MECANIQUE DES BOIS PAR METHODE MACHINE



Symboles des contraintes caractéristiques



Résineux C24 en daN/cm²

$f_{m,k}$	240	flexion
$f_{t,0,k}$	140	traction axiale
$f_{t,90,k}$	5	traction perpendiculaire
$f_{c,0,k}$	210	compression axiale
$f_{c,90,k}$	25	compression perpendiculaire
$f_{v,k}$	2.5	cisaillement
$E_{0,mean}$	11000	module moyen axial

1 / LES CHARGES

DIFFERENTS MODES DE CHARGEMENT

- Charge ponctuelle : Charge appliquée en point, ou sur une surface très réduite. [unité daN]

On peut cependant admettre que plusieurs charges ponctuelles réparties à des entraxes identiques constituent une charge répartie. Exemple : chevrons sur une panne.

- Charge répartie :

- Charge linéique : la valeur de la charge est donnée par unité de longueur. [unité : daN/m]

- Charge surfacique : la valeur de la charge est donnée par unité de surface. [unité : daN/m²]

- Bande de chargement : Pour passer d'une charge surfacique à une charge linéique

Dans le cas d'une structure porteuse discontinue (chevonnage), les éléments porteurs sont espacés d'une distance appelée **entraxe**. On considère que chaque élément reprend les charges surfaciques de manière symétrique de part et d'autre ($\frac{1}{2}$ entraxe + $\frac{1}{2}$ entraxe) soit au total la valeur de l'entraxe.

Exercice : Calculer la valeur de la charge linéique appliquée à chaque panne composant la toiture du projet « appenti sur poteau ». **Donnée : Charge surfacique = 250 daN/m²**

CLASSIFICATION DES ACTIONS [EUROCODE 0]

NF EN 1990

Tout au cours de leur vie, les structures qui composent nos constructions sont soumises à différentes charges.

Selon l'Eurocode 0, il convient de classer ces charges selon trois types :

■ Les actions permanentes (G) :

-
-

■ Les actions variables (Q) :

-
-
-

■ Les actions accidentelles (A) :

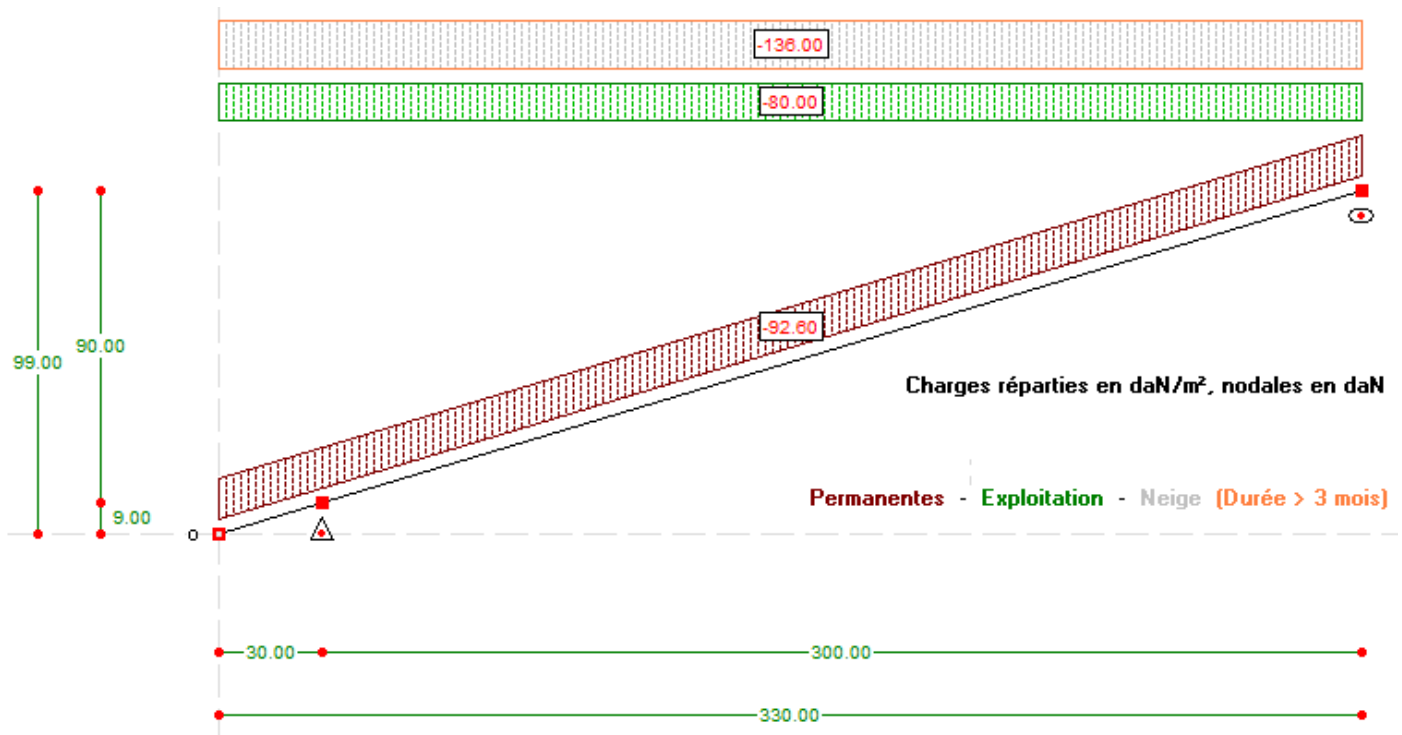
-
-

Tableau 1 : Les différents types d'actions

SYMBOLE	TYPE	DESIGNATION	NORME - REGLEMENT
G	Actions permanentes	Poids propre de la structure	NF-P-06.111
		Poids propre des équipements	-
Q	Actions variables	Charges d'exploitation Q	NF-P-06.111
		Charges climatiques de neige S	NF EN 1991-1-3
		Charges climatiques de vent W	NF EN 1991-1-4 ou NF EN 1991-4 ou NV65 modifié 2000 x 1,2 en période transitoire
A	Actions accidentelles	Explosions, chocs	-
		Actions sismiques A_E	NF EN 1998

Important : Les arrondis se feront au daN, au mm et au 1/10°

On considère le chevron porteur suivant, **section 5x15, entraxe à 50 cm** :



- Déterminer la valeur des charges suivantes (voir légende schéma au-dessus) :

$$G = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

$$S = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

$$Q = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

- Déterminer l'angle α en ° que forme la toiture avec l'horizontal (détail du calcul au-dessous)

$$\alpha = \dots\dots\dots^\circ \quad \text{Détail du calcul} \dots\dots\dots$$

- Corriger avec le facteur de pente ($1/\cos \alpha$) les charges réparties à l'horizontale pour obtenir la valeur selon le rampant (*indice : cette valeur – selon le rampant – doit être supérieure*)

$$1/\cos \alpha = \dots\dots\dots$$

$$S_{\text{rampant}} = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

$$Q_{\text{rampant}} = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

Toujours à l'aide du facteur de pente, rechercher la portée entre appui L :

$$L = \dots\dots\dots \text{ m}$$

- On utilise un cas de chargement à l'ELU = $1,35G + 1,5S + 1,05Q$

Donner la valeur de la charge totale répartie en toiture :

$$1,35 G + 1,5 S_{\text{rampant}} + 1,05 Q_{\text{rampant}} = \dots\dots\dots \text{daN/m}^2$$

- En utilisant l'entraxe, donner la charge répartie p par mètre linéaire de chevron :

$$p = \dots\dots\dots \text{daN/ml}$$

- En utilisant la portée, déterminer la charge totale P repris par un chevron entre ses appuis :

$$P = \dots\dots\dots \text{daN}$$

- Le **tableau** suivant donne la charge totale admissible en **daN** pour une section en fonction de sa portée. Le chiffre en gras donne une charge à l'**ELU (résistance)**, celui en italique donne une charge à l'**ELS (déformation)**.

Exploiter le **tableau** avec vos résultats et conclure sur la section proposée :

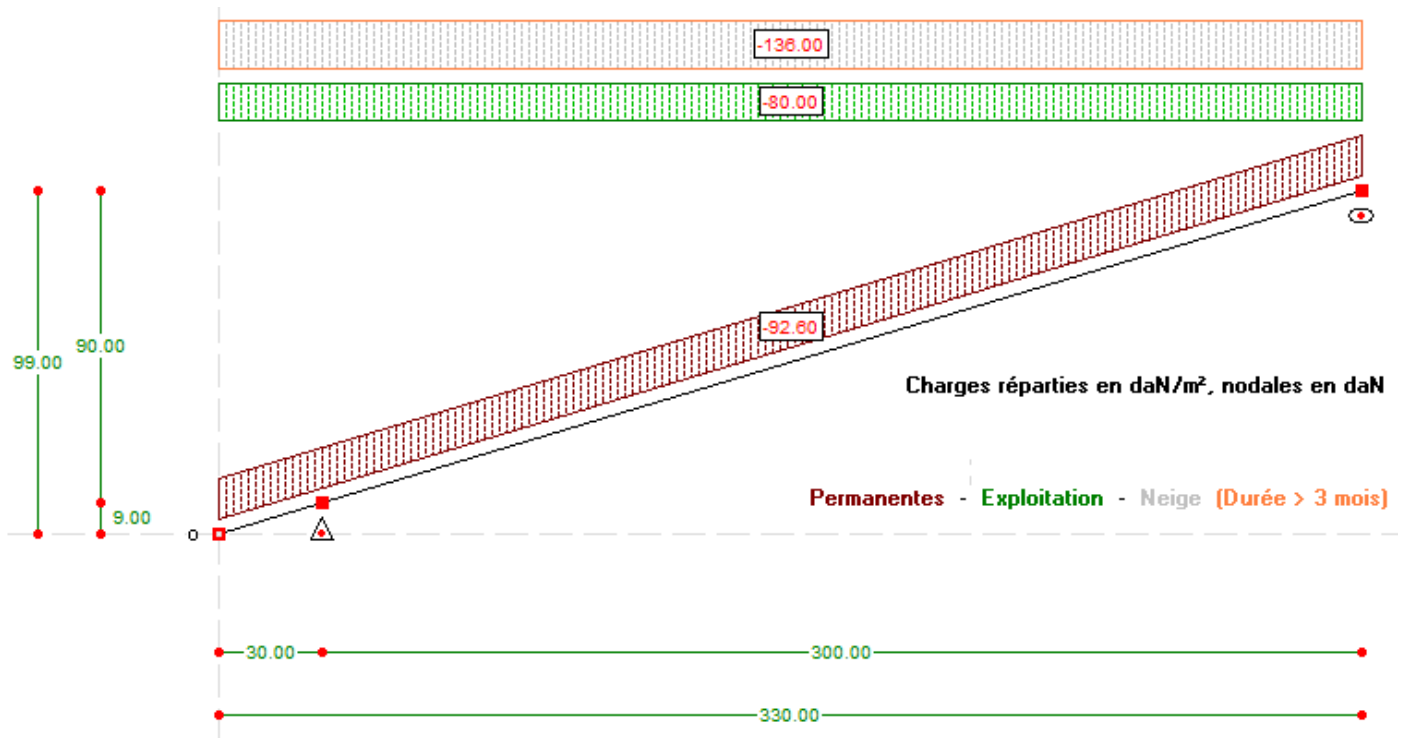
.....

- Proposer une section de remplacement si la **section proposée ne convient pas** :

.....

Section commerciale (cm)	Portée (cm) Section de calcul (cm)	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
		5,0 x 12,5	4,7 x 12,2				765	662	567	496	441	397	361	331	305	284
					<i>659</i>	<i>478</i>	<i>381</i>	<i>282</i>	<i>226</i>	<i>185</i>	<i>154</i>	<i>130</i>	<i>111</i>	<i>96</i>	<i>84</i>	<i>74</i>
5,0 x 15,0	4,7 x 14,7				921	908	779	681	606	545	495	454	419	389	363	341
					<i>1082</i>	<i>799</i>	<i>611</i>	<i>480</i>	<i>386</i>	<i>317</i>	<i>265</i>	<i>224</i>	<i>192</i>	<i>166</i>	<i>146</i>	<i>128</i>
5,0 x 16,5	4,7 x 16,2					1015	918	804	714	643	584	536	494	459	429	402
						<i>1037</i>	<i>798</i>	<i>631</i>	<i>509</i>	<i>419</i>	<i>351</i>	<i>297</i>	<i>255</i>	<i>221</i>	<i>194</i>	<i>171</i>
5,0 x 17,5	4,7 x 17,2					1078	1017	890	791	712	647	593	547	508	474	445
						<i>1215</i>	<i>940</i>	<i>745</i>	<i>603</i>	<i>497</i>	<i>417</i>	<i>354</i>	<i>304</i>	<i>264</i>	<i>231</i>	<i>204</i>
5,0 x 20,0	4,7 x 19,7						1235	1121	996	896	815	747	690	640	598	560
							<i>1351</i>	<i>1080</i>	<i>881</i>	<i>730</i>	<i>614</i>	<i>523</i>	<i>450</i>	<i>391</i>	<i>343</i>	<i>303</i>
5,0 x 22,5	4,7 x 22,2						1391	1373	1220	1098	998	915	845	785	732	686
							<i>1842</i>	<i>1488</i>	<i>1221</i>	<i>1017</i>	<i>859</i>	<i>734</i>	<i>633</i>	<i>552</i>	<i>485</i>	<i>429</i>
5,0 x 25,0	4,7 x 24,7							1548	1463	1317	1197	1097	1013	941	878	823
								<i>1965</i>	<i>1625</i>	<i>1362</i>	<i>1155</i>	<i>990</i>	<i>857</i>	<i>748</i>	<i>659</i>	<i>584</i>
6,5 x 10,0	6,3 x 9,7			815	721	601	515	450	400	360	328	300	277	257		
				<i>895</i>	<i>488</i>	<i>335</i>	<i>251</i>	<i>194</i>	<i>155</i>	<i>126</i>	<i>105</i>	<i>88</i>	<i>75</i>	<i>65</i>		
6,5 x 11,5	6,3 x 11,2			941	920	767	657	575	511	460	418	383	354	329	307	288
				<i>1021</i>	<i>699</i>	<i>504</i>	<i>380</i>	<i>295</i>	<i>236</i>	<i>193</i>	<i>160</i>	<i>135</i>	<i>116</i>	<i>100</i>	<i>87</i>	<i>77</i>
6,5 x 12,5	6,3 x 12,2				1025	887	760	665	591	532	484	443	409	380	355	333
					<i>883</i>	<i>641</i>	<i>485</i>	<i>378</i>	<i>303</i>	<i>247</i>	<i>206</i>	<i>174</i>	<i>149</i>	<i>129</i>	<i>112</i>	<i>99</i>
6,5 x 15,0	6,3 x 14,7				1235	1217	1044	913	812	730	664	609	562	522	487	457
					<i>1450</i>	<i>1071</i>	<i>818</i>	<i>643</i>	<i>518</i>	<i>425</i>	<i>355</i>	<i>300</i>	<i>257</i>	<i>223</i>	<i>195</i>	<i>172</i>
6,5 x 16,5	6,3 x 16,2					1361	1231	1077	957	862	783	718	663	615	574	539
						<i>1391</i>	<i>1070</i>	<i>845</i>	<i>683</i>	<i>562</i>	<i>470</i>	<i>399</i>	<i>342</i>	<i>297</i>	<i>260</i>	<i>229</i>
6,5 x 17,5	6,3 x 17,2					1445	1363	1193	1060	954	867	795	734	681	636	596
						<i>1629</i>	<i>1280</i>	<i>998</i>	<i>808</i>	<i>667</i>	<i>558</i>	<i>474</i>	<i>407</i>	<i>353</i>	<i>310</i>	<i>273</i>

On considère le chevron porteur suivant, **section 5x15, entraxe à 50 cm** :



- Déterminer la valeur des charges suivantes (voir légende schéma au-dessus) :

$$G = 92 \text{ daN/m}^2$$

$$S = 136 \text{ daN/m}^2$$

$$Q = 80 \text{ daN/m}^2$$

- Déterminer l'angle α en ° que forme la toiture avec l'horizontal (détail du calcul au-dessous)

$$\alpha = 16.7^\circ \quad \text{Détail du calcul : } 90/300 = \tan \alpha \text{ soit } \alpha = 16.7^\circ$$

- Corriger avec le facteur de pente ($1/\cos \alpha$) les charges réparties à l'horizontale pour obtenir la valeur selon le rampant (*indice : cette valeur – selon le rampant – doit être supérieure*)

$$1/\cos \alpha = 1.044$$

$$S_{\text{rampant}} = 1/\cos \alpha * S = 142 \text{ daN/m}^2$$

$$Q_{\text{rampant}} = 83 \text{ daN/m}^2$$

Portée entre appui L :

$$L = 3.00 \text{ m} * 1.044 = 3,132 \text{ m}$$

- On utilise un cas de chargement à l'ELU = $1,35G + 1,5S + 1,05Q$

Donner la valeur de la charge totale répartie en toiture : $1,35 G + 1,5 S_{\text{rp}} + 1,05 Q_{\text{rp}} = 425 \text{ daN/m}^2$

- Entraxe à 50cm, soit $p = 425 * 0.50 = 213 \text{ daN/ml}$
- Portée à 3.132, soit $P = 3.132 * 213 = 667 \text{ daN}$
- D'après le **tableau**, la section 5x15cm sur portée de 3.13m (arr. à 3.25m) est trop juste (419 daN)
- Il faudrait utiliser une section 6.5x17.5cm qui peut reprendre 734 daN sur une portée de 3.25m

METHODE DES ETATS LIMITES [EUROCODE 0]

NF EN 1990

« La conception des structures est l'art de mouler des matériaux que l'on ne connaît pas très bien selon des formes que l'on ne sait guère analyser, pour résister à des efforts que l'on ne sait guère évaluer, et tout cela à un degré que le public est loin de soupçonner. »

Dr. E.H. Brown
Imperial College, Londres.

L'Eurocode 0 introduit la notion d'Etat Limite :

- **L'Etat Limite de Service, E.L.S.**, qui impose que les déformations des structures sous des charges de service normales ne dépassent pas des valeurs réglementaires de flèche, qui pourraient nuire au confort des personnes, ou à l'aspect du bâtiment.
- **L'Etat Limite Ultime, E.L.U.**, doit assurer la résistance ou la stabilité des structures et la sécurité des personnes sous des charges exceptionnelles. Si cet état est dépassé, c'est la ruine de l'ouvrage.

SITUATION DE PROJET ET COMBINAISONS D' ACTIONS

→ EXEMPLE : TERRASSE D'UN RESTAURANT D'ALTITUDE >1000 M

Tableau 5 : combinaisons de sollicitations en fonction de l'approche effectuée

Etat limite vérifié	Action permanente	Action variable de base	Action variable d'accompagnement	Action accidentelle
	G	Q ou S ou W		
E.L.U (STR)	$\gamma_{g,sup} * G$	$\gamma_q * Q$	$\psi_0 * \gamma_q * S$	
Exemple	Poids de la structure	Exploitation	Neige	
E.L.U (EQU : risque de soulèvement au vent)	$\gamma_{g,inf} * G$	$\gamma_q * W_d$		
Exemple	Poids de la structure	Vent (dépression*)	Neige	
ELU (STR en situation accidentelle)	G	$\psi_2 * Q$	$\psi_2 * W_p$	S _{Ad}
Exemple	Poids de la structure	Exploitation	Vent (pression*)	
E.L.S. (Winst)	G	Q	$\psi_0 * S$	
Exemple	Poids de la structure	Exploitation	Neige	
E.L.S. (Wcreep)	$k_{def} * G$	$k_{def} * \psi_2 * Q$		
Exemple	Poids de la structure	Exploitation		
E.L.S. (Wnet, fin)	$(1+k_{def}) * G$	$(1+k_{def}) * \psi_2 * Q$		
Exemple	Poids de la structure	Exploitation		

Action Variable	ψ_0 action variable d'accompagnement	ψ_2 Fluage
CHARGES D'EXPLOITATION DES BATIMENTS		
Catégorie A : Habitations résidentiels	0.7	0.3
Catégorie B : Bureaux	0.7	0.3
Catégorie C : Lieux de réunion	0.7	0.6
Catégorie D : Commerce	0.7	0.6
Catégorie E : Stockage	1	0.8
Catégorie H : toits	0	0
CHARGES DE NEIGE		
Altitude > 1000 m	0.7	0.2
Altitude ≤ 1000 m	0.5	0

Valeurs des coefficients partiels

Coefficients partiels en fonction du type d'action	Bâtiment usuel
Durée indicative d'utilisation du bâtiment	50 ans
Action permanente (STR) : $\gamma_{G,sup}$	1.35
Action permanente (STR) : $\gamma_{G,inf}$	1
Action permanente (EQU) : $\gamma_{G,inf}$	0.9
Action variable (STR) : γ_Q	1.5

Déterminer la valeur des coefficients :

- **E.L.U (résistance) :**

- **E.L.S (flèche inst.) :**

ACTION SUR LES STRUCTURES [EUROCODE 1]

NF EN 1991

A présent que nous avons envisagé différents cas de chargement (ELS et ELU), il convient de se reporter à l'Eurocode 1 pour déterminer la valeur réglementaire des actions appliquées aux bâtiments.

→ DETERMINER LES CHARGES PERMANENTES G NF EN 1991 1-1

Les charges permanentes peuvent être calculées à partir du poids volumique (daN/m^3) des matériaux utilisés. L'Eurocode 1 donne le poids volumique des bois et des matériaux de construction courant. Les documentations techniques des produits de construction mentionnent également ces informations.

poids volumiques :

- Résineux C24 =
- Acier =

poids surfaciques :

- Tuiles Alpha 10 =
- Efitoit 900 (isolant rigide) =

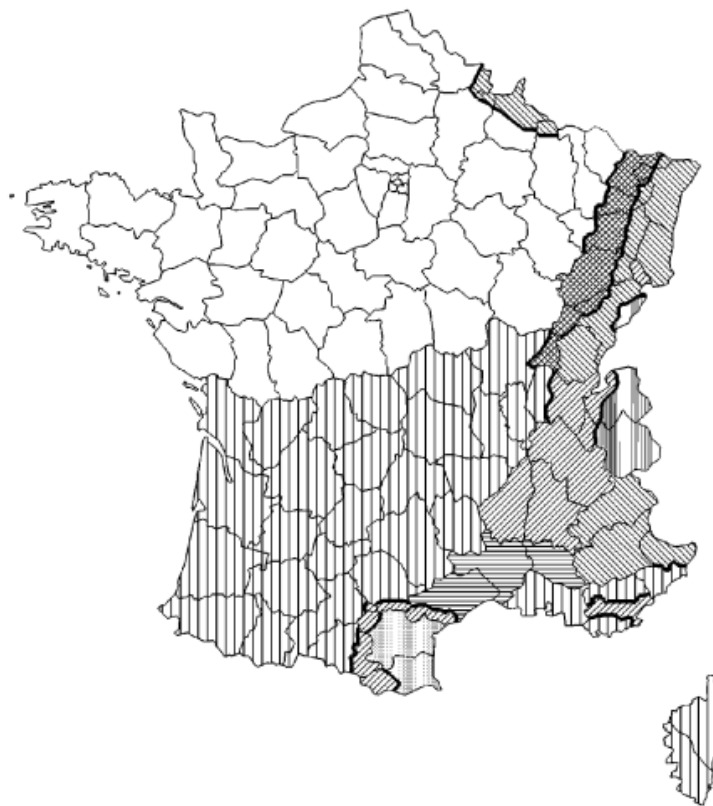
→ DETERMINER LES CHARGES D'EXPLOITATION Q NF EN 1991 1-1

Catégories	q daN/m^2 (répartie)	Q daN (ponctuelle)
A Logement		
Plancher		
Balcon		
Escalier		
B Bureau		
Bureau		
C Locaux publics		
C1 Locaux avec tables		
C2 Locaux avec sièges fixes (théâtres, cinémas, etc.)		
C3 Locaux sans obstacles à la circulation (musées, salles d'expositions, etc.)		
C4 Locaux pour activités physiques (dancing, salle de gymnastique, etc.)		
C5 Locaux susceptibles d'être surpeuplés (salles de concert, terrasses, etc.)		
D Commerces		

D1 Commerce de détail courant		
D2 Grands magasins		
E Aires de stockages et locaux industriels		
E1 Aires de stockage (entrepôts, bibliothèques, etc.)		
E2 Usages industriels		CCTP
H Toitures		
Si pente <15% et étanchéité		
Sinon		
I Toitures accessibles		
Pour les usages des catégories A à D		Charges identiques à la catégorie de l'usage

→ **DETERMINER LES CHARGES DE NEIGE NF EN 1991 1-3 NA**

1. Choisir la région (A1, B1, C1, etc.) en fonction du département et déterminer la Valeur caractéristique S_{k200} de la charge de neige au sol à une altitude $A = 200$ m ;
2. Déterminer la loi de variation selon la région : ΔS_1 ou ΔS_2 ;
3. Déterminer la charge supplémentaire en fonction de l'altitude à l'aide de la formule correspondant à la loi de variation ;
4. Calculer la charge S_k à l'altitude du projet avec $S_k = S_{k200} + \Delta S$



Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	Δs_1						Δs_2	

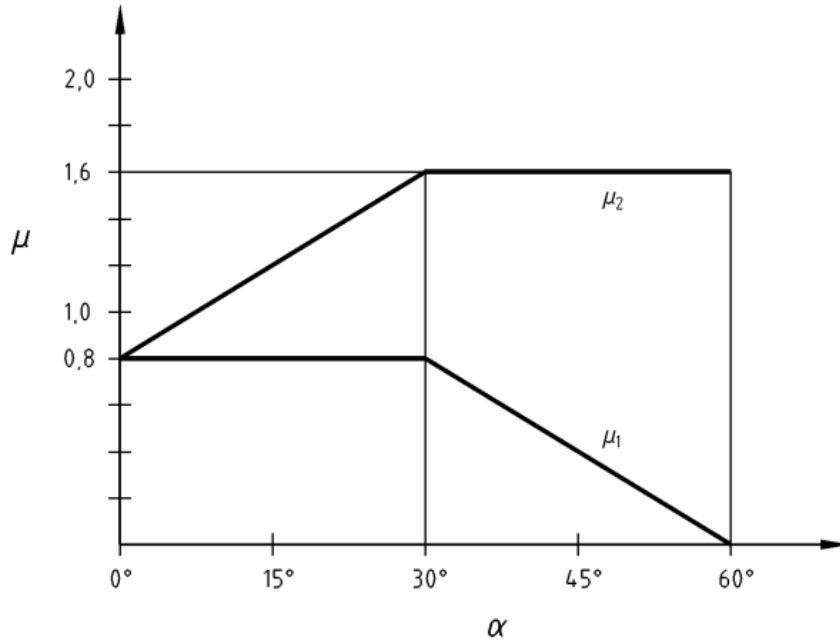
(charges en KN/m^2)

Altitude A	Δs_1	Δs_2
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

Tableau A.1 - Classement des départements au regard des charges de neige

5. Il convient de tenir compte d'un coefficient de forme de la toiture μ_1

Figure 5.1 Coefficients de forme



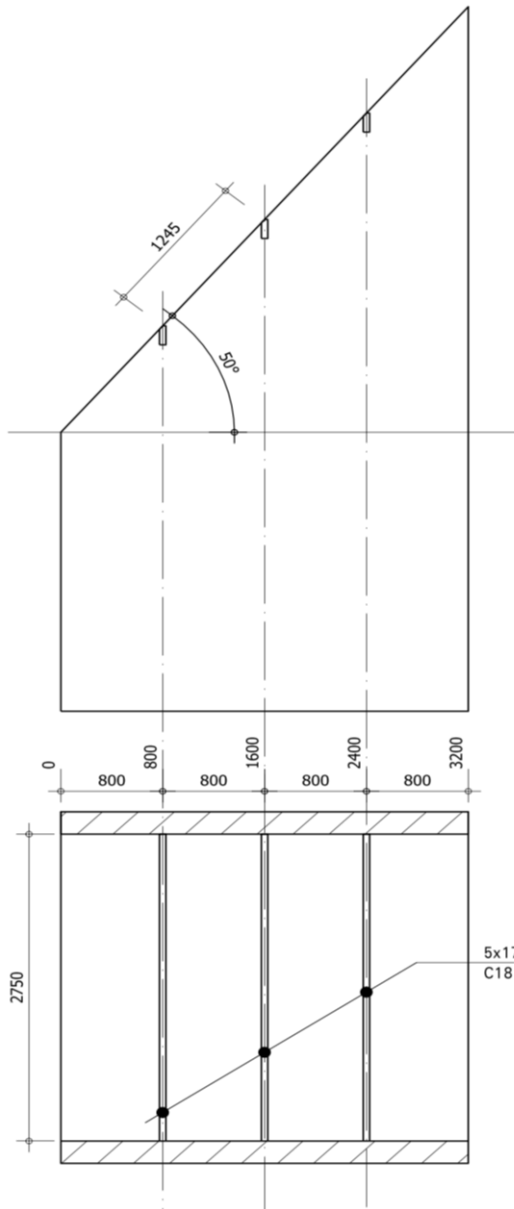
(2) Les valeurs données dans le Tableau 5.2 s'appliquent **lorsque la neige n'est pas empêchée de glisser de la toiture**. Toutefois lorsqu'il y a des barres à neige ou d'autres obstacles au déplacement de la neige ou encore lorsqu'il y a un acrotère en rive basse de la toiture, il convient de ne pas prendre pour le coefficient de forme μ_1 de valeur inférieure à 0,8.

Tableau 5.2 Coefficients de forme

α (angle du toit avec l'horizontale)	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	—

6. Pour finir, la charge de neige s'exprime de la façon suivante :

$$S = \mu_1 * S_k$$



Couverture	tuile Omega 10 litage 27x40	45 daN/m ²
Toiture	Agepan DWD ép. 16mm	9.12 daN/m ²
Chevron	60/80 C18 entraxe 0.60m	380 daN/m ³
Isolation	fibre de bois semi-rigide ép. 100+100mm	2 x 5 daN/m ²
Parement	Fermacell ép. 15mm	15 daN/m ²

Situation de projet Région E, Altitude = 850 m
Pas d'exploitation en toiture

- On demande : De vérifier une panne à l'ELU à l'aide du **tableau** portée/section/charge disponible sur viescolaire.net

Pas d'exploitation en toiture : charge variable **q=0**

Bande de chargement = entraxe selon le rampant = 1.245 m

Calcul des charges permanentes G

Pour 1ml de panne :

Couverture	: 45x1.245 =	56 daN/ml
Agepan	: 9.12x1.245 =	11.3 daN/ml
Chevron	: 0.06 x 0.08 x 380 x 1.245 x 1/0.6 =	3.8 daN/ml
Isolation	: 10 x 1.245 =	12.5 daN/ml
Parement	: 15 x 1.245 =	18.7 daN/ml
Poids pr. Panne	: 0.05 x 0.17 x 380 =	3.23 daN/ml

TOTAL G = 106 daN/ml

Calcul de la charge de neige S

Région E :

Sk200 = 140 daN/m²

Loi de variation à 850 m

$\Delta s_2 = 3.5 \times (850 / 1000) - 1.30 = 167.5 \text{ daN/m}^2$

TOTAL

Sk800 = 308 daN/m²

Facteur de forme : **$\mu_1 = 0.8 \times (60-50) / 30 = 0.27$**

S = $\mu_1 \times Sk800 = 83.2 \text{ daN/m}^2$

Pour 1ml de panne : **S = 83.2 x 1.245 = 103.6 daN/ml**

S = 104 daN/ml

Cas de chargement ELU : 1.35G +1.5S

Charge linéique **p = 1.35 x 106 + 1.5 x 104 = 299.1 daN/ml**

p = 299 daN/ml

Sur la longueur de la panne **P = 299.1 x 2.75 = 822.5 daN**

P = 823 daN

Conclusion : D'après le **tableau**, la section – 5x17 sur 2.75 m – est trop juste (647 daN max). Un passage en 5x22 ou 6x18 est obligatoire pour satisfaire l'Eurocode 5. (998 et 887 daN max)

L'EUROCODE 5 – CALCUL DES STRUCTURES EN BOIS

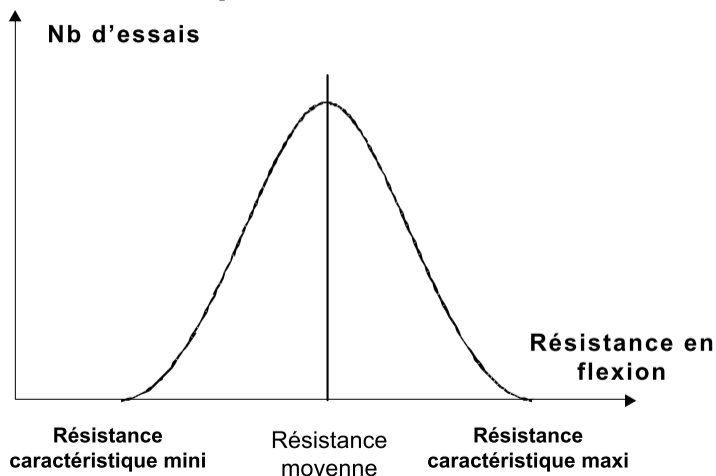
EN 1995 1-1

CLASSE DE RESISTANCE DU BOIS MASSIF ET LAMELLE-COLLE

Le matériau bois présente de **grandes variations de résistance et d'élasticité**. Cette variabilité se retrouve d'une essence à l'autre mais également à l'intérieur d'un même arbre. Lorsque l'on réalise des essais, la majorité **des échantillons** auront une résistance proche de la **résistance moyenne**.

Ces résultats sont reportés sur une courbe pour former **une courbe de Gauss**

Schéma 6 : la variation de la résistance mécanique du bois est représentée par une courbe de Gauss



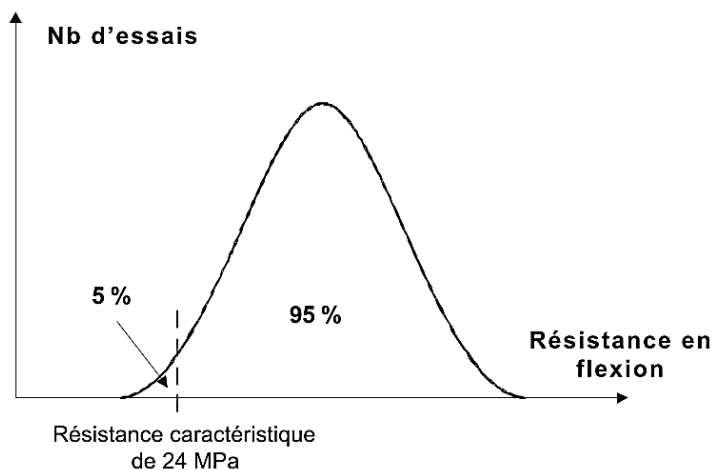
Cette propriété permet de déterminer une valeur de résistance mécanique afin que **95% des échantillons aient une résistance supérieure à cette valeur, 5% ayant une résistance inférieure**.

Cette valeur est nommée valeur caractéristique

Il est fréquent de constater pour une même essence des variations de résistance allant de 1 à 10. Le classement de structure du bois permet de diminuer l'amplitude de cette variation. Les bois sont classés en catégories de résistance par un **classement visuel (EN 518, NF B 52001)** ou par un **classement machine (EN 519)**.

On retiendra pour chaque catégorie issue du classement des valeurs caractéristiques. On la nomme « **résistance au fractile de 5 %** ».

Schéma 7 : dans la classe de résineux C24, 95 % des bois de cette catégorie ont une résistance à la rupture en flexion supérieure ou égale à 24 MPa



Elles représentent par catégorie de bois une **limite inférieure assurant que 95 % des bois auront une contrainte de rupture en flexion supérieure ou égale à la valeur de la classe**.

Par exemple, dans la classe de résineux **C24**, **95 % des bois de cette catégorie ont une résistance à la rupture en flexion à 24 MPa**.

Tableau 11 : valeurs caractéristiques des bois massifs résineux

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm ²	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm ²	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 ^e percentile	kN/mm ²	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm ²	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
G_{mean}	Module de cisaillement	kN/mm ²	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
ρ_k	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	290	310	320	340	350	370	380	400	420
ρ_{mean}	Masse volumique moyenne	kg/m ³	350	370	380	410	420	450	460	480	500

Tableau 13 : valeurs caractéristiques des bois lamellés

Symbole	Désignation	Unité	Lamellés-collés homogènes				Lamellés-collés panachés			
			GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
$f_{m,g,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	24	28	32	36	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	16,5	19,5	22,5	26,0	14,0	16,5	19,5	22,5
$f_{t,90,g,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0,40	0,45	0,50	0,60	0,35	0,40	0,45	0,50
$f_{c,0,g,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
$f_{c,90,g,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
$f_{v,g,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm ²	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
$E_{0,g,mean}$	Module moyen axial	kN/mm ²	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
$E_{0,g,05}$	Module axial au 5 ^e percentile	kN/mm ²	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
$E_{90,g,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm ²	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
$G_{g,mean}$	Module de cisaillement	kN/mm ²	0,75	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
$\rho_{g,k}$	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	380	410	430	450	350	380	410	430

FACTEUR K_{MOD} (MODIFICATIF)

La résistance d'un bois (à l'intérieur d'une même classe de résistance) est influencée par deux autres paramètres :

- la durée d'application des chargements
- l'humidité moyenne du bois lorsqu'il est mis en œuvre.

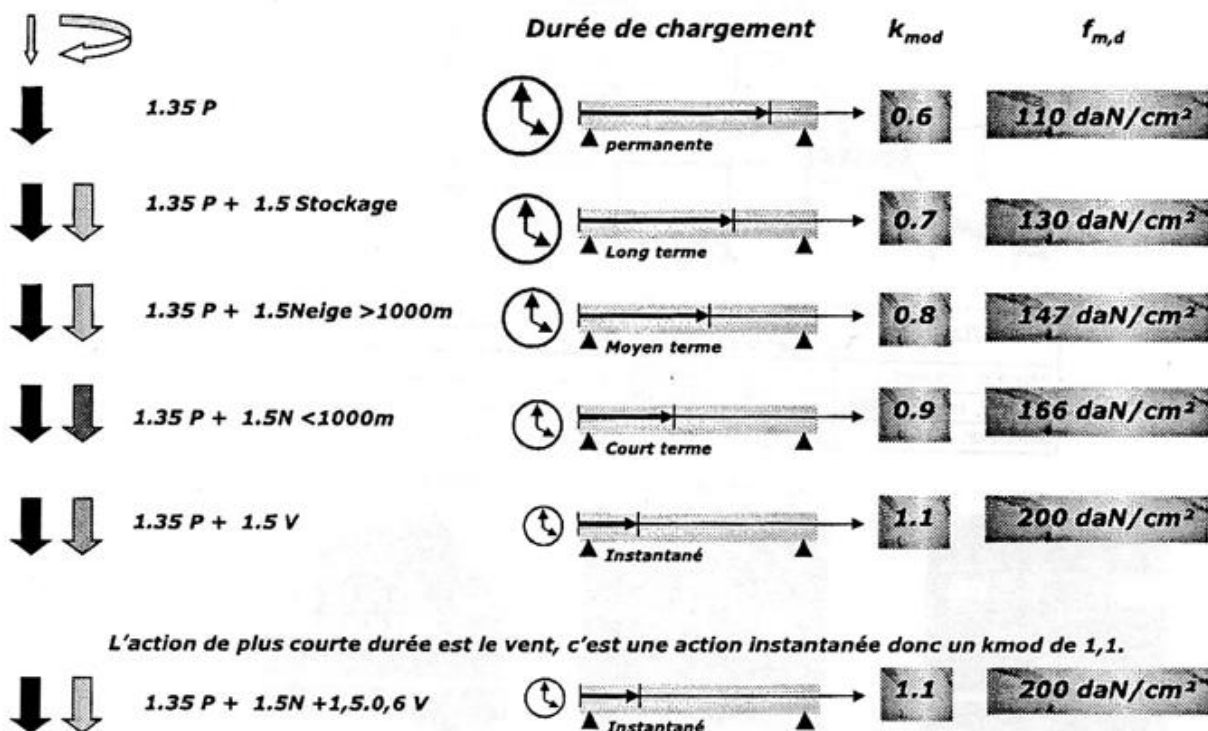
Tableau 15 : valeur du k_{mod} du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué

Durée de chargement		Classe de service		
Classe de durée	Exemple	1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abri)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
Permanente (> 10 ans)	Charge de structure	0,6	0,6	0,5
Long terme (6 mois à 10 ans)	Stockage	0,7	0,7	0,55
Moyen terme (1 semaine à 6 mois)	Charges d'exploitation Neige Altitude > 1 000 m	0,8	0,8	0,65
Court terme (< 1 semaine)	Neige Altitude < 1 000 m	0,9	0,9	0,7
Instantanée	Vent, neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

k_{mod} et les classes de durée de chargement

Influence de la durée de chargement sur les contraintes

Le K_{mod} est défini par l'action de plus courte durée dans la combinaison



L'action de plus courte durée est le vent, c'est une action instantanée donc un k_{mod} de 1,1.

COEFFICIENT γ_M

La dispersion des caractéristiques mécaniques du métal est plus faible que la dispersion des produits dérivés du bois, qui elle-même est plus faible que la dispersion du bois massif.

Le coefficient γ_M (matériau) diminue la résistance des matériaux.

Le **tableau 17** indique la valeur du γ_M pour les principaux matériaux de structure.

Tableau 17 : valeur du γ_M en fonction de la dispersion du matériau

États limites ultimes		
Combinaisons fondamentales		
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2
Assemblages (p. 171)		1,3
Combinaisons accidentelles		1,0
États limites de service		1,0

CALCUL DE LA RESISTANCE

La résistance de calcul $f_{x,d}$ se détermine par la formule suivante :

Par exemple, pour la résistance en flexion :

$$f_{m,d} = f_{m,k} * K_{mod} / \gamma_M$$

- K_{mod} : coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service (humidité du bois).
- $f_{m,k}$: résistance caractéristique à la flexion
- γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

Remarque : Pour certaines applications, des coefficients complémentaires peuvent être appliqués comme le coefficient de hauteur, le coefficient d'effet système...

APPLICATIONS RESOLUES

- Résistance en flexion d'une solive en résineux classé C24 supportant un plancher dans une maison (combinaison 1,35 G + 1,5 Q, classe de service 1)

MPa : f est la résistance, m est la flexion, k est la valeur caractéristique, bois classé C24.

$K_{mod} = 0,8$: le chargement pris en compte est **G** permanent et **Q** exploitation, K_{mod} est fonction de la durée d'application de la charge de la plus courte exposition, ici la charge d'exploitation, moyen terme.

$\gamma_M = 1,3$: bois massif.

$f_{m,d} = 240,8/1,3 = 14,7$ MPa ; d est la valeur de calcul (déterminée).

- Résistance en flexion d'une solive en bois lamellé-collé classé GL28h supportant un plancher (combinaison 1,35 **G** + 1,5 **Q**, classe de service 1)

$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$: f est la résistance, m est la flexion, k est la valeur caractéristique, bois LC classé GL28h.

$K_{mod} = 0,7$: le chargement pris en compte est **G** permanent et **Q** exploitation (stockage), K_{mod} est fonction de la durée d'application de la charge de la plus courte exposition, ici la charge d'exploitation, long terme.

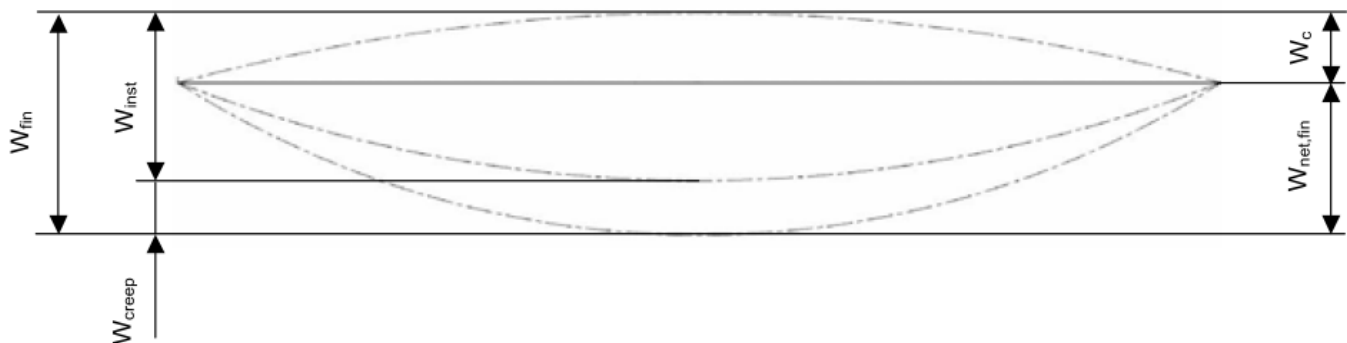
$\gamma_M = 1,25$: bois lamellé-collé.

$f_{m,d} = 15,6 \text{ MPa}$; d est la valeur de calcul (déterminée).

VALEURS LIMITES DE FLECHES ET COMBINAISONS D'ETAT LIMITE DE SERVICE

L'Eurocode 5 distingue la flèche instantanée (W_{inst}), la flèche de fluage (W_{creep}), la contre-flèche (W_c), la flèche résultante finale ($W_{net,fin}$) et la flèche finale (W_{fin}).

Schéma 8 bis : la flèche résultante finale ($W_{net,fin}$) est mesurée sous les appuis



- **La flèche instantanée (W_{inst})** est provoquée par l'ensemble des charges au moment de leur application.
- **La flèche de fluage (W_{creep})** correspond à l'amplification de la flèche due aux charges de longue durée. Le calcul des charges est réalisé à partir des combinaisons d'actions quasi-permanentes). Un coefficient multiplicatif k_{def} (dans le **tableau 19**, p. 20) permet de tenir compte du fluage du bois en service.
- **La flèche finale (W_{fin})** est la somme de la flèche instantanée (W_{inst}) et de la flèche de fluage (W_{creep}) : $W_{fin} = W_{inst} + W_{creep}$.
- **La contre-flèche (W_c)** peut être réalisée à l'atelier lors de la fabrication de la poutre, notamment les poutres en lamellé-collé. Elle permet d'augmenter sensiblement la valeur absolue de la déformation de la poutre tout en restant dans les limites réglementaires.
- **La flèche résultante finale ($W_{net,fin}$)** est la flèche apparente totale mesurée sous la ligne des appuis. Elle est déterminée par la formule : $W_{net,fin} = W_{fin} - W_c = W_{inst} + W_{creep} - W_c$

CONVENTION

Les valeurs de flèches proviennent de la norme NF EN 1995-1-1/NA.

Trois contraintes sont imposées : la flèche instantanée sous charges variables ($W_{inst,Q}$), la flèche résultante finale ($W_{net,fin} = W_{fin}$ si contreflèche = 0) et la flèche finale (W_{fin}), contreflèche incluse.

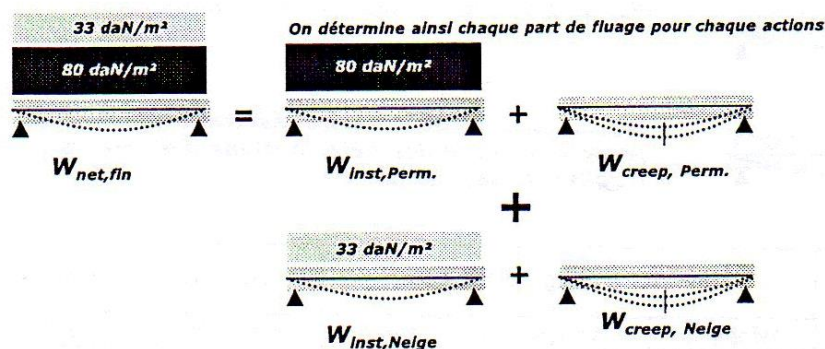
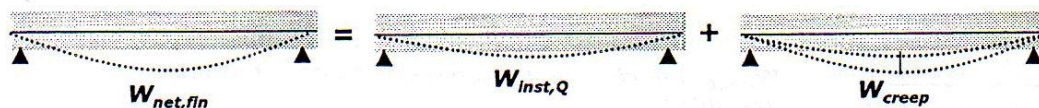
Le **tableau 18** indique les valeurs de flèche conventionnelles. Ces valeurs sont des flèches relatives à la distance entre appuis. $L/300$ représente une flèche de 2 cm pour une poutre de 6 m entre appuis.

Tableau 18 : valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	W_{fin}	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Chevrans	–	$L/150$	$L/150$	–	$L/150$	$L/150$
Éléments structuraux	$L/300$	$L/200$	$L/125$	$L/200$	$L/150$	$L/100$

Eurocode 5 : flèche nette finale

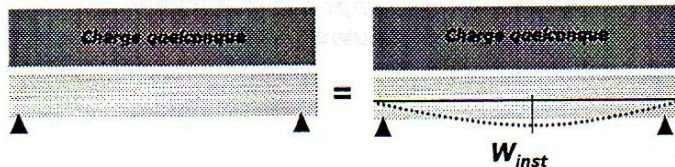
La flèche nette finale correspond à la flèche instantanée d'une charge amplifiée par son fluage lié au part quasi permanente des actions et à la classe de service :



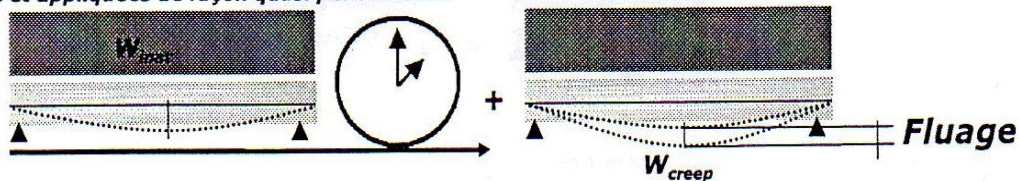
	bâtiments à usage d'habitation			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	W_{fin}	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Chevrans	-	$L/150$	$L/150$	-	$L/150$	$L/150$
Éléments structuraux	$L/300$	$L/200$	$L/125$	$L/200$	$L/150$	$L/100$

Eurocode 5 : Flèches de fluage

Au chargement d'une poutre apparaît, dans un premier temps sa flèche instantanée.



Lorsque ce chargement est maintenu, le bois fatigue dans le temps et une flèche dite de fluage s'ajoute progressivement. Cette flèche de fluage est due seulement aux charges qui sont maintenues et appliquées de façon quasi permanente.



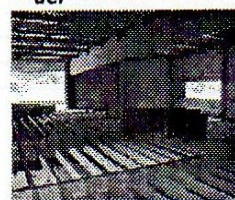
$$\text{Facteur de fluage} = \Psi_2 \times k_{def}$$

Ce coefficient de fluage dépend de l'humidité ambiante le k_{def} , et durée d'application de la charge le Ψ_2 . Le coefficient $\Psi_2 \times k_{def}$ permet de déterminer la part de fluage de toutes les actions appliquées à la poutre.

$\Psi_2 =$ part permanente d'une action

ACTION	Ψ_2
Permanente	1
Catégories A : habitation, zones résidentielles	0,3
Catégories B : bureaux	0,3
Catégories C : lieux de réunion	0,6
Catégories D : commerces	0,6
Catégories E : stockage	0,8
Neige altitude > 1000m	0,2
Neige altitude < 1000m	0
Vent	0

k_{def} coefficient de fluage du matériau



Local chauffé
classe de service 1

0,6

X

Tableau 19 : valeur de k_{def} (fluage)

Matériau / classe de durée de charge		Classe de service		
		1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abris)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
Bois massif ⁽¹⁾	NF EN 14081-1 de mai 2006	0,60	0,80	2,00
Lamellé-collé	NF EN 14080 de décembre 2005	0,60	0,80	2,00
Lamibois (LVL)	NF EN 14374 de mars 2005	0,60	0,80	2,00

En résumé, voici l'écriture des différentes flèches :

PRINCIPE DE JUSTIFICATION AUX ETATS LIMITES ULTIMES DES EUROCODES 5

Il faut vérifier que les sollicitations induites par les actions appliquées à la structure restent inférieures ou égales à la valeur de calcul de la résistance de la structure :

$$S_d \leq R_d$$

Un exemple pour la vérification de la contrainte de flexion :

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$: contrainte de flexion induite par la charge.

$f_{m,d}$: contrainte de résistance en flexion. Elle dépend principalement de la contrainte caractéristique (95 % des pièces supporteront une contrainte supérieure à une valeur), mais aussi de la durée de la charge, de l'humidité de service de la structure, etc.

Tableau 23 : exemple (même application qu'avec les Règles CB 71) : vérification de la contrainte de flexion d'une solive en bois massif supportant une charge de structure de 400 N/m et une charge d'exploitation de 500 N/m

	Contrainte	Signification†	Valeur (MPa)
	$\sigma_{f,rupt}$	Contrainte de flexion provoquant la rupture de la pièce	31*
Eurocode 5, état limite ultime	$f_{m,k}$	Contrainte caractéristique de résistance en flexion : 95 % des pièces supporteront une contrainte à 24 MPa	24
	$f_{m,d}$	Contrainte de résistance en flexion : $f_{m,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$; $24 \times \frac{0,8}{1,3}$ k_{mod} : coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge d'exploitation) et de la classe de service (humidité du bois) γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau	14,8
	$\sigma_{m,d}$	Contrainte de flexion induite par la charge sous la combinaison $S = 1,35 G + 1,5 Q$ (G charge permanente et Q charge d'exploitation) : coefficient partiel des charges γ_F	12,9
	Justification : $\sigma_{m,d} / f_{m,d} \leq 1$		0,87
Valeur moyenne de rupture définie pour l'exemple par la loi de Gauss avec une valeur caractéristique à 5 % de 24 MPa et un écart type de 4,2 MPa.			